Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электрических станций и электроэнергетических систем

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика

Алматы 2018

СОСТАВИТЕЛИ: Е.Г. Михалкова, И.С. Соколова. Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Электрические станции и подстанции» для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика. - Алматы: НАО АУЭС, 2017.- 25 с.

Методические указания содержат описание лабораторных работ по курсу «Электрические станции и подстанции», требования, предъявляемые к подготовке и оформлению лабораторной работы. Дан перечень рекомендуемой литературы.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальностям направления 5В071800 – Электроэнергетика.

Ил. 9 , табл.6, библиогр.- 5 назв.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Казанина И.В.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2018 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2018 г.

Введение

Настоящие методические указания представляют собой руководство к лабораторным работам, выполняемыми студентами, обучающимися по специальности 5В071800 – Электроэнергетика, при изучении курса «Электрические станции и подстанции».

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, сдавшие зачет и сделавшие отметку в специальном журнале инструктажа.

В процессе выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться настоящими методическими указаниями и непосредственными указаниями преподавателя.

Отчет должен содержать:

- название работы;
- цель работы;
- теоретические сведения;
- схемы установки с обозначением основного оборудования;
- таблицы экспериментальных и расчетных данных;
- графики полученных зависимостей и расчетные формулы.

Для защиты работы студенты должны подготовиться в соответствии с контрольными вопросами и рекомендуемой литературой.

1 Лабораторная работа №1. Измерительные трансформаторы тока

Цель работы: изучение основных сведений о трансформаторах тока, конструкций различных типов трансформаторов тока (ТТ) и проведение испытаний.

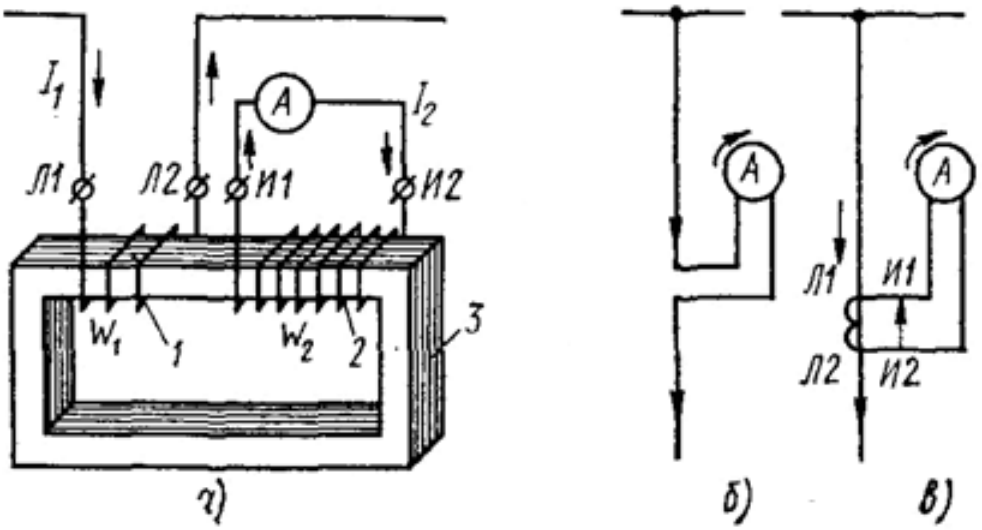
1.1 Общие сведения о трансформаторах тока

Трансформаторы тока применяют в установках напряжением до 1000 В и выше. Они относятся к измерительным трансформаторам и предназначены для расширения предела измерения измерительных приборов, а в высоковольтных цепях, кроме того, - для изоляции приборов и реле от высокого напряжения.

Благодаря им приборы для измерения тока и реле не только изолируются от высоковольтной цепи, но могут быть удалены от нее на значительное расстояние и сосредоточены на щите управления.

ТТ изготавливают с расчетом получить во вторичной обмотке ток 5 или 1А при номинальном токе в первичной обмотке.

Трансформатор тока состоит из замкнутого сердечника, набранного из тонких листов электротехнической стали, и двух обмоток — первичной и вторичной. Первичную обмотку включают последовательно в контролируемую цепь, ко вторичной обмотке присоединяют токовые катушки различных приборов и реле. Устройство трансформатора тока и схемы включения амперметра показаны на рисунке 1.1, а—в. Магнитный поток в магнитопроводе 3 создается токами первичной 1 и вторичной 2 обмоток.



а) устройство; б) схема включения амперметра в первичную цепь;
в) схемы включения амперметра цепь и через трансформатор тока.

Рисунок 1.1 – Трансформатор тока

ТТ характеризуется номинальным коэффициентом трансформации, предоставляющим отношение номинального тока первичной обмотки номинальному току вторичной обмотки или отношение числа витков ω_2 к ω_1 т.е.:

$$K_{1ном} = I_{1ном} / I_{2ном} \approx \omega_2 / \omega_1 . \qquad (1.1)$$

Трансформатор тока дает погрешность в измерении, определяемую из выражения, %:

$$\Delta I = \frac{K_{1ном} \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100 . \qquad (1.2)$$

Погрешность зависит не только от величины нагрузки, присоединенной к вторичной обмотке, но и от пропорциональности между первичным током и создаваемым им магнитным потоком. Как известно, такая пропорциональность нарушается при малом или большом токе по отношению к номинальному. Вследствие этого ТТ непригоден для измерения тока, значительно отклоняющегося от номинального.

При рассмотрении намагничивающих сил в ТТ необходимо учитывать их сдвиг по фазе. Сдвиг по фазе между токами и намагничивающими силами первичной и вторичной обмоток виден из векторной диаграммы (рассмотреть самостоятельно [2, 4]). Таким образом, кроме погрешности измерения тока, ТТ имеют угловую погрешность, которая представляет угол сдвига вектора тока вторичной обмотки I_2 по отношению к вектору тока первичной обмотки I. Угловая погрешность возрастает с увеличение нагрузки вторичной обмотки. Влияние угловой погрешности учитывают при сложных системах релейной защиты. Погрешность в измерении тока должна учитываться во всех случаях применения ТТ.

В настоящее время для уточненных расчетов берется не токовая погрешность ΔI, а полная погрешность. Она характеризует как погрешность по току, так и угловую погрешность.

На погрешности влияет в основном, ток намагничивания стали сердечника. Чем выше качество стали, т. е. больше начальная магнитная проницаемость, тем меньше и стабильнее ток намагничивания.

Для снижения погрешностей и повышения точности измерений применяются: холоднокатаная сталь, пермаллой (сплав стали с никелем), специальные схемы соединений обмоток, искусственное подмагничивание сердечника и другие средства.

По степени точности измерений ТТ подразделяют наследующие классы точности: 0,2; 0,5; 1; 3, 5 и 10.

Группировка трансформаторов тока по классам точности сердечников и области их применения приведены в таблице 1.1. Обозначения класса точно-

сти соответствует наибольшей погрешности (в процентах) при токе в первичной обмотке, равном 100-120 % номинального.

Т а б л и ц а 1.1 – Класс точности и области применения ИТТ

Класс точности сердечника	Первичный ток, % $I_н$	Пределы допускаемой погрешности			Область применения
		в токе, % (±)	Угловой (±)		
			…….	срад	
0,2	5 20 100-120	0,75 0,35 0,20	30 15 10	0,9 0,45 0,3	Точные измерения энергии и мощности (точные контрольные лабораторные приборы)
0,5	5 20 100-120	1,5 0,75 0,5	90 45 30	2,7 1,35 0,9	Точные измерения энергии и мощности; счетчики 1-го класса
1	5 20 100-120	3,0 1,5 1,0	180 90 60	5,4 2,7 1,8	Измерения тока, энергии и мощности; реле, счетчики 1-го класса - расчетные
3 5 10	50-120	3,0 5,0 10,0	Не нормируется		Подключение амперметров, реле, фазометров То же Подключение катушек приводов

ИТТ класса 0,2 применяются для точных измерений, проверок и исследований, ими оснащаются электротехнические лаборатории электрических станций. Трансформаторы тока классов 0,5 и 1 устанавливаются в распределительных устройствах.

Трансформаторы тока классов 3, 10 используются для схем релейных защит, автоматики, где допустима погрешность 3% и выше. В некоторых схемах релейных защит и автоматики находят применение и специальные конструкции ИТТ, например, с сердечниками Д для дифференциальной защиты и любых других защит или с сердечниками Р для релейной защиты.

Класс точности ИТТ существенно зависит от нагрузки вторичной цепи. Нагрузка ИТТ определяются либо мощностью S_2 и cos φ_2 при номинальном токе I_2, либо полным сопротивлением вторичной цепи $z_2 = \sqrt{r^2 + x^2}$.

Приняв ток $I_2 = 5\ A$ за расчетный, получим соотношения:

$$z = \frac{S}{25}; r = z\cos\varphi_2; x = z\sin\varphi_2 \qquad (1.3)$$

Номинальной нагрузкой ТТ является наибольшая мощность S_2, при которой он работает в высшем классе точности. Подключение дополнительных приборов, т. е. увеличение нагрузки вторичной цепи, проводит к увеличению погрешностей и снижению точности измерений.

Все трансформаторы тока можно классифицировать, в зависимости от их особенностей и технических характеристик:

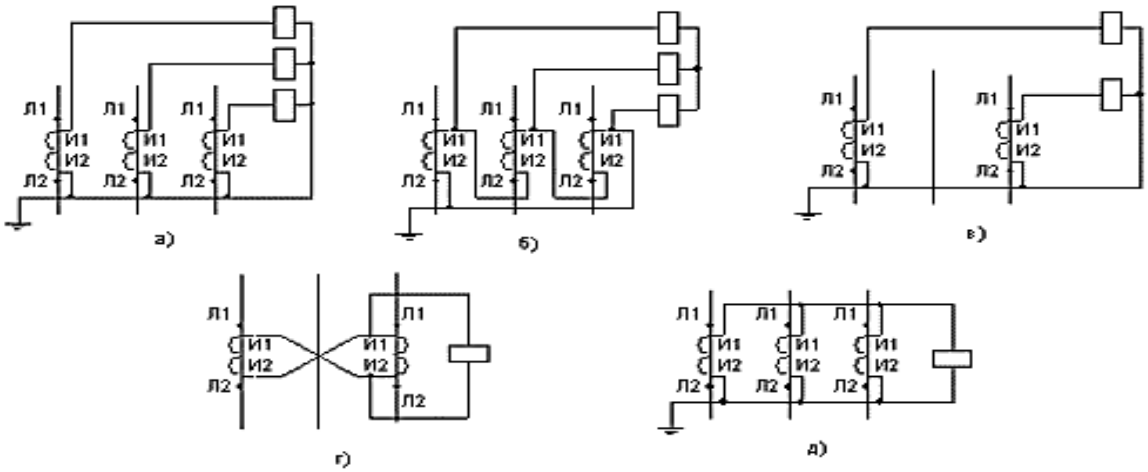
По назначению. Устройства могут быть измерительными, защитными или промежуточными. Последний вариант используется при включении измерительных приборов в токовые цепи релейной защиты и других аналогичных схемах.

По типу установки. Трансформаторные устройства для наружной и внутренней установки, накладные и переносные. Внутренняя и наружная установка трансформаторов предполагает проходные и опорные способы монтажа этих устройств

По конструкции первичной обмотки. Устройства разделяются на одновитковые или стержневые, многовитковые или катушечные, а также шинные.

По типу изоляции, которая бывает сухая, с применением бакелита, фарфора, и других материалов. Кроме того, применяется обычная и конденсаторная бумажно-масляная изоляция. В некоторых конструкциях используется заливка компаундом.

По количеству ступеней трансформации, устройства могут быть одно- или двухступенчатыми, то есть каскадными. Все характерные классификационные признаки присутствуют в условных обозначениях трансформаторов тока, состоят из определенных буквенных и цифровых символов.



а) Звездой; б) треугольником; в) неполной звездой;
г) на разность токов двух фаз; д) на сумму токов трех фаз.
Рисунок 1.2 – Схемы соединений ИТТ

Схемы соединения вторичных обмоток ТТ. Первичные обмотки ТТ всегда включаются последовательно в цепь. Вторичные обмотки заземляют согласно требованиям техники безопасности на случай пробоя первичной обмотки на вторичную, за исключением случаев, обусловленных особенностями работы отдельных типов релейной защиты. От схемы соединения ТТ зависят величины токов, протекающих по проводам, приборам и реле, и расчетная

длина проводов. На рисунке 1.2 приведены некоторые схемы подключения ТТ и приборов.

1.2 Программа работы

1. Изучение конструкций, представленных в работе ТТ (технические данные записывают в отчет).
2. Проверка полярности зажимов (выводов), представленных ТТ типа ТП-10, ТПФМ-10.
3. Проверка состояния изоляции ТТ типа ТПФМ-10 и ТП-10.
4. Определение токовой погрешности измерительного ТТ.

1.3 Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием настоящей работы и необходимой литературой.
2. Подготовить все необходимые рисунки и таблицы.
3. Ответить устно на контрольные вопросы.

1.4 Порядок выполнения работы

1.4.1 Изучение параметров и конструкций ТТ.

В данном пункте работы необходимо записать паспортные данные, изучить конструкцию предложенных преподавателем ТТ, обратить внимание на количество и тип обмоток, маркировку выводов обмоток.

Паспортные данные изучаемых в лаборатории трансформаторов тока внести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Паспортные данные ТТ

№ п/п	Номинальное напряжение, кВ	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Класс точности или обозначение вторичной обмотки	Номинальная нагрузка в классе, Ом			
					0,5	1	3	10р

1.4.2 Проверка полярности выводов ТТ.

Для правильного подключения ТТ обмоток ваттметров, счетчиков электрической энергии и т.п. необходимо знать полярность зажимов обмоток. Все ТТ должны иметь четкие обозначения выводов обмоток.

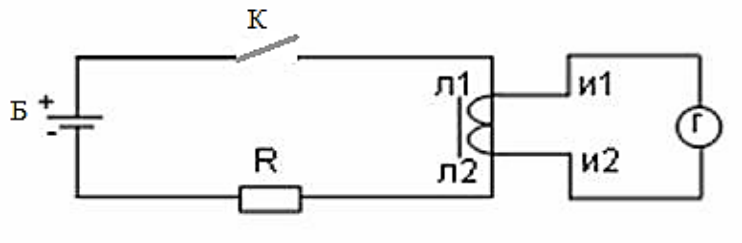
На ТТ производства СНГ выводы первичной обмотки обозначаются буквами $Л_1$ (начало обмотки) и $Л_2$ (конец обмотки); совпадающие с ними по полярности выводы вторичной обмотки обозначаются буквами $И_1$ и $И_2$.

Для проверки полярности выводов нужны источник постоянного тока и гальванометр (или любым магнитоэлектрическим прибором с малым внутренним сопротивлением и обозначением полярности выводов). В нашем случае это стрелочный электроизмерительный прибор Ц4352.

В данном эксперименте студент должен определить правильность обозначения выводов ТТ типа ТПЛ - 10, для чего необходимо собрать схему представленной на рисунке 1.3.

При кратковременном замыкании цепи первичной обмотки соответствующим полюсом источника постоянного тока во вторичной обмотке индуктируется ЭДС, направление которой зависит от того, к каким выводам подключен прибор. Если стрелка прибора отклоняется вправо от среднего положения, то это значит, что полярность обозначения обмоток соответствует схеме, изображенной на рисунке 1.3.

Если отклонение будет влево, то следует изменить полярность выводов на одной из обмоток. Следует помнить, что при размыкании цепи отклонение стрелки будет противоположным.



ТТ - испытуемый трансформатор тока типа ТПЛ-10;
К – разомкнутый контакт; Б - источник постоянного тока;
Г – гальванометр (электроизмерительный прибор).
Рисунок 1.3 – Определение полярности выводов ТТ

1.4.3 Проверка сопротивления изоляции вторичной обмотки ТТ.

Проверка сопротивления изоляции осуществляется прибором мегаомметром. Мегаомметр – это прибор, предназначенный для измерения сопротивления изоляции электрических цепей, не находящихся под напряжением.

При измерении сопротивления изоляции вторичной обмотки студент должен:

1. Ознакомиться с принципом работы динамического мегаомметра типа ЭС0202/2 - Г. Данный мегаомметр предназначен для измерений сопротивления в диапазоне от 0-10000 МОм, измерительное напряжение на зажимах может быть в пределах: 500±50В; 1000±100В; 2500±250 В.

2. Собрать схему, согласно рисунку 1.4, и произвести измерения сопротивления изоляции вторичной обмотки трансформатора тока. Для этого необходимо подключить мегаомметр к выводам вторичной обмотки ТТ, обозна-

ченных И1 и И2. После подключения прибора необходимо начать крутить рукоять со скоростью 120-140 об./мин(2 об./сек) в течение 1 минуты. После использования прибором нельзя пользоваться 2 минуты. Снять показания, полученные мегаомметром, и сделать вывод о состоянии изоляции вторичной обмотки ТТ и наличии обрыва в ней.

Величина сопротивления изоляции вторичной обмотки должна быть не ниже 1 МОм, а если в обмотке имеется обрыв, то стрелка мегаомметра останется на нулевой шкале.

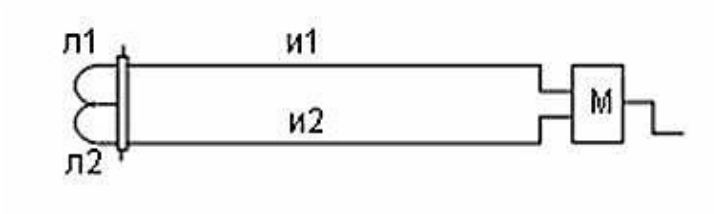


Рисунок 1.4 – Проверка сопротивления изоляции вторичной обмотки ТТ

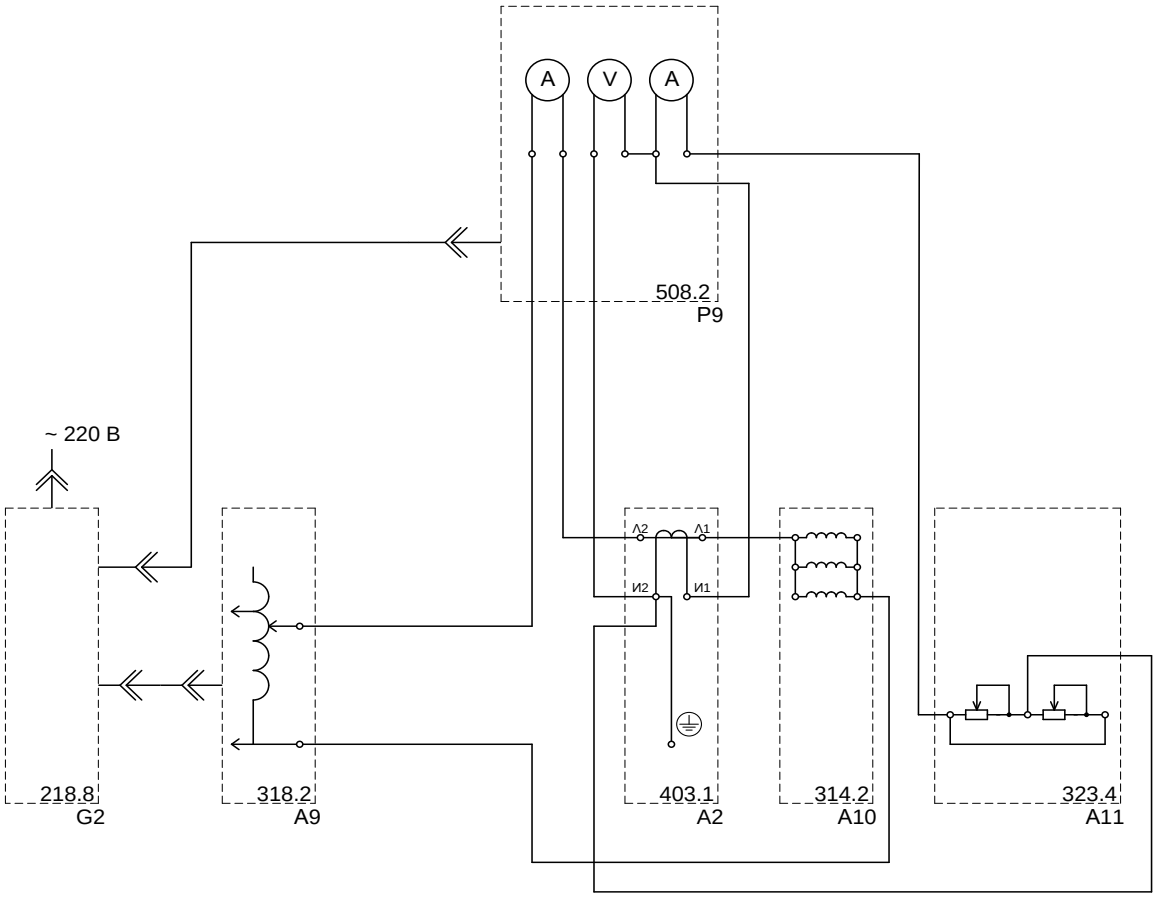
1.4.4 Определение погрешности измерительного трансформатора тока.

Определение погрешности измерительного трансформатора тока типа ТОП-0,66 производится с помощью лабораторного стенда «Электроэнергетика – Электрические измерения на электрических станциях и подстанциях» ЭЭ2-ЭИЭСП.002.1 РБЭ (938.6.1).

При определении погрешности измерительного трансформатора тока студент должен опираясь на указания по проведению эксперимента, собрать схему согласно рисунку 1.5. В таблице 1.3. представлен перечень аппаратуры, используемой при определении погрешности ТТ типа ТОП-0,66.

Таблица 1.3 - Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G2	Однофазный источник питания	218.8	~ 220 В / 6 А
A2	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ Uраб = ~ 660 В/ Sн = 5 ВА
A9	Регулируемый автотрансформатор	318.2	~ 0…240 В / 2 А
A10	Линейный реактор	314.2	3 × 0,3 Гн / 0,5 А
A11	Реостат	323.4	2×0…100 Ом / 1А
P9	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра ≂0...1000 В / ≂0...10 А / 0…20 МОм



G2 - Однофазный источник питания; A9- Однофазный источник питания; P9 - Блок мультиметров; A2 – ТТ типа ТОП-0,66;
A10 - Линейный реактор; A11- Реостат.

Рисунок 1.5 – Схема электрических соединений при определении погрешности измерительного ТТ типа ТОП-0,66

Указания по проведения эксперимента:

- убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания;
- соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" автотрансформатора A9;
- соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений;
- поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора A9 в крайнее против часовой стрелки положение;
- установите коэффициент трансформации трансформатора A10 равным 1,0;
- установите сопротивление реостата A11 равным, например, 10 Ом;
- включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G2;
- включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P9 и автотрансформатора A9;
- активизируйте мультиметры блока P9;

- вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А9 по часовой стрелке, установите и зафиксируйте (с помощью амперметра блока Р9) первичный ток I_1 трансформатора тока А2, равным 1,0 А;

- зафиксируйте с помощью вольтметра и амперметра блока Р9 соответственно напряжение U_2 и ток I_2 вторичной обмотки трансформатора тока А2;

- отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G2;

- отключите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора А9 и блока мультиметров Р9;

- вычислите нагрузку трансформатора тока А2 по формуле:

$$S_2 = U_2 \cdot I_2; \tag{1.4}$$

- вычислите погрешность трансформатора тока А2 по формуле:

$$\Delta I = (I_2 / I_1 - 1)100,\% . \tag{1.5}$$

Сделать вывод о пригодности трансформатора тока к эксплуатации.

1.5 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Технические данные ТТ.
3. Схемы испытаний, результаты.
4. Анализ полученных данных.

1.6 Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия трансформаторов тока.
2. Конструкции ТТ.
3. Погрешности ТТ. Чем они обусловлены?
4. Способы уменьшения погрешностей.
5. Порядок выбора ТТ.
6. Почему не допускается работа ТТ при разомкнутой вторичной обмотке?
7. Класс точности и области применения ТТ.
8. Схемы подключения ТТ и вторичной нагрузки.
9. Векторная диаграмма ТТ.
10. Характеристика намагничивания.

2 Лабораторная работа №2. Измерительные трансформаторы напряжения

Цель работы: изучение конструкций различных типов измерительных трансформаторов напряжения, схем их включения и определение погрешности.

2.1 Общие сведения о трансформаторах напряжения

Трансформатор напряжения предназначен для понижения высокого напряжения до стандартного значения *100* или *100√3 В* и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Измерительные трансформаторы состоят из двух изолированных друг от друга обмоток, помещенных на магнитопроводе: первичной с числом витков ω_1 и вторичной с числом витков ω_2. Схема включения трансформатора напряжения приведена на рисунке 2.1.

В принципе ИТН – это небольшой силовой трансформатор, работающий в режиме, близком к режиму холостого хода. Для идеального ИТН (без потерь и погрешностей) коэффициент трансформации приблизительно равен отношению чисел витков:

$$К_н = U_{1н}/U_{2н} \approx \omega_1/\omega_2 \ , \qquad (2.1)$$

поэтому

$$U_2 = U_1/К_н \ . \qquad (2.2)$$

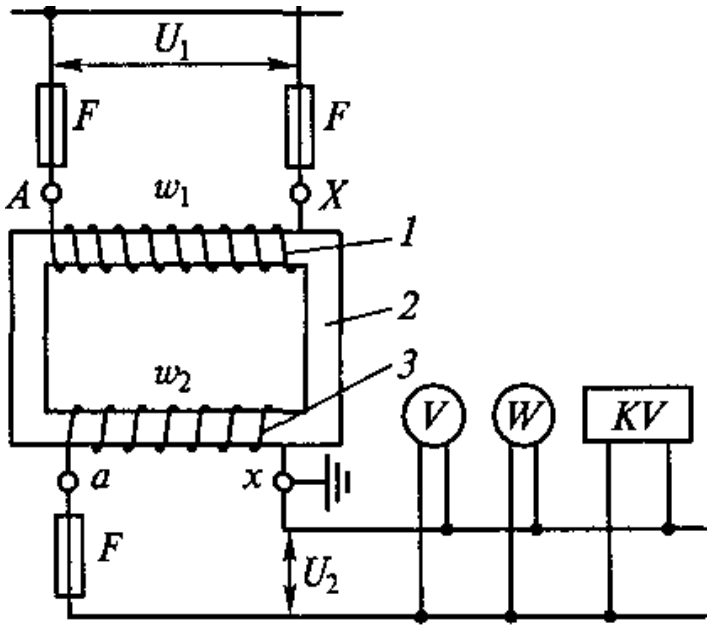
Номинальное вторичное напряжение обычно равно *100* или *100√3 В*. Шкалы подключаемых приборов градуируются по первичному напряжению.

У реальных ИТН возникают погрешности изменения из-за потерь в магнитопроводе на перемагничивание и вихревые токи и из-за нагрева обмоток эти погрешности снижают точность измерений.

Погрешность напряжения (в процентах) определяется выражением:

$$\Delta U = \frac{k_H U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\%. \qquad (2.3)$$

В трансформаторах напряжения первичное напряжение U_1 больше вторичного U_2, поэтому у них $\omega_1 > \omega_2$. Обе обмотки выполняются из относительно тонкого провода (первичная — из более тонкого, чем вторичная). Вторичное номинальное напряжение $U_{2ном}$ у стационарных трансформаторов составляет 100 и 100/√3В при первичном номинальном напряжении $U_{1ном}$ до 750/√3 кВ.



1 - первичная обмотка; *2* - магнитопровод; 3 - вторичная обмотка.
Рисунок 2.1 - Схема включения трансформатора напряжения

По показаниям приборов, включенных во вторичные обмотки, можно определить значения измеряемых величин. Для трансформатора напряжения их показания надо умножить на действительные коэффициенты трансформации $K_U = U_1/U_2$.

Для снижения погрешностей применяются сердечники с возможно меньшим магнитным сопротивлением, уменьшается индукция в магнитопроводах, магнитное рассеяние, плотность тока в обмотках.

Класс точности трансформаторов напряжения (ТН) характеризуется максимально допустимыми погрешностью напряжения и угловой погрешностью при определенном режиме работы трансформатора.

ИТН класса 0,2 применяются для точных измерений, проверок и исследований при наладочных работах, приемных испытаниях оборудования, для подключения вычислительных машин, приборов автоматического регулирования частоты, градуировки эксплуатационных приборов и т.п., ими оснащаются электротехнические лаборатории электрических станций. Группировка ИТН по классу точности приведена в таблице 2.1.

ИТН классов 0,5 и 1 устанавливаются в распределительных устройствах. Они служат для подключения щитовых приборов, расчетных и контрольных счетчиков и прочих измерительных устройств, у которых погрешность в напряжении не должна превышать 0,5 или 1%. Для подключения расчетных счетчиков обязательно применение ИТН класса 0,5.

ИТН класса 3 и грубее используются в релейных защитах, устройствах автоматики, для питания сигнальных ламп и т.п., где допустима погрешность измерения больше 3%.

Таблица 2.1 – Группировка ИТН по классу точности

Класс точности	Наибольшая погрешность		
	напряжения, %	Угловая	
		……	град
0,2	±0,2	±10	±0,3
0,5	±0,5	±20	±0,6
1	±1	±40	±1,2
3	±3	Не нормируется	

Класс точности существенно зависит от вторичной нагрузки ИТН, при увеличении которой он снижается. Нагрузка (мощность) однофазного ИТН (в вольт – амперах) определяется выражением:

$$S = {U^2}/{z} \tag{2.4}$$

или

$$S = UI = \sqrt{(\Sigma P)^2 + (\Sigma Q)^2}, \tag{2.5}$$

где U – номинальное напряжение вторичной обмотки, В;

I- ток вторичной обмотки, А;

$\sum P = S \cos \varphi$ – суммарная активная мощность;

$\sum Q = S \sin \varphi$-суммарная реактивная мощность;

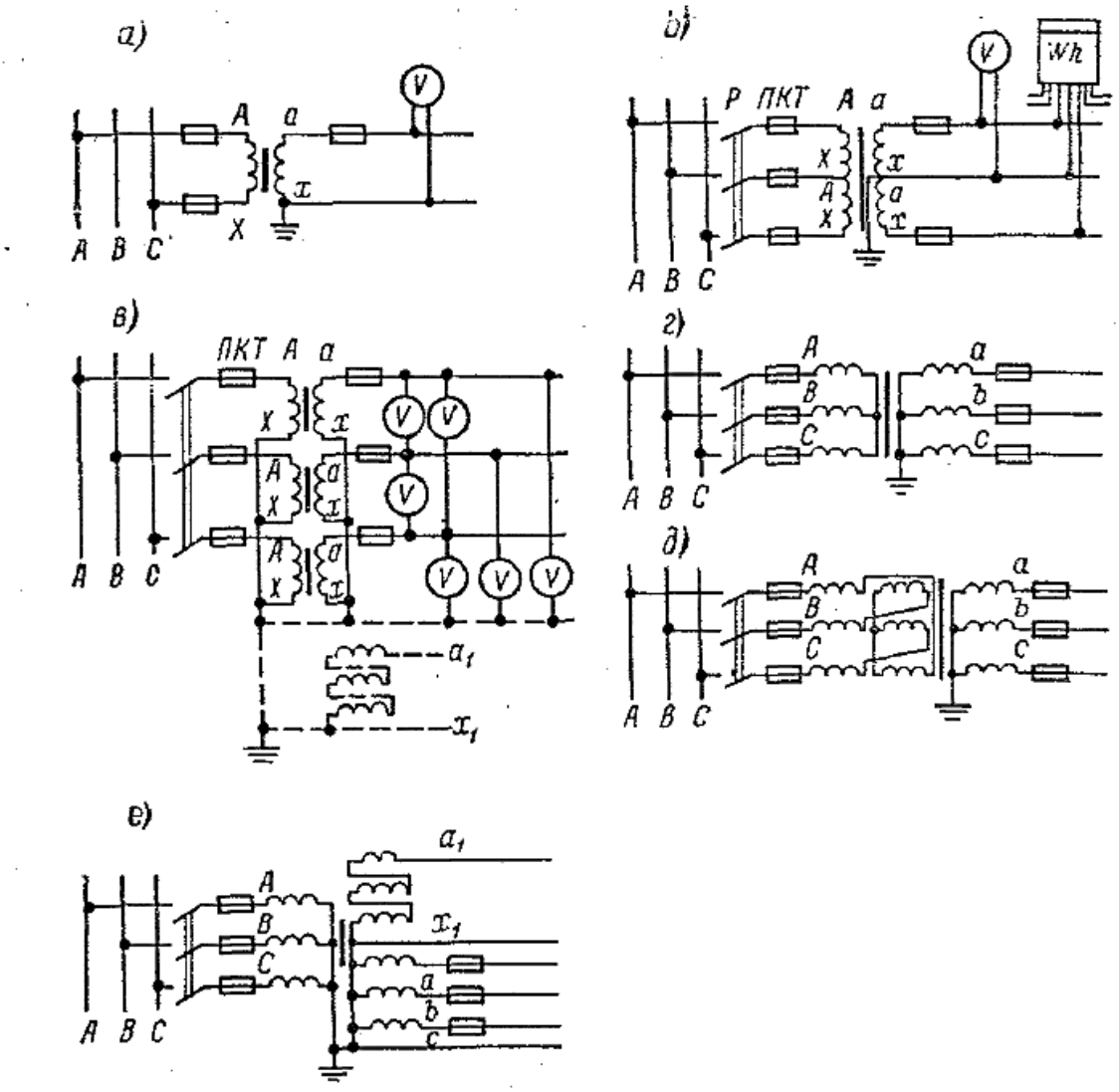
$z = \sqrt{r^2 + x^2}$- полное сопротивление вторичной цепи, Ом;

$r = z \cos \varphi$ – активное сопротивление вторичной цепи;

$x = z \sin \varphi$ – реактивное сопротивление вторичной цепи.

В электроустановках применяется множество схем включения ИТН. Самая простая схема – включение одного однофазного ИТН (рисунок 2.2 а) применяется для получения одного междуфазного напряжения. Схема (рисунок 2.2 б) предусматривает включение открытым (неполным) треугольником двух однофазных ИТН и дает все три междуфазных напряжения. Эта схема дешевле трехтрансформаторной, состоящей из трех однофазных тансформаторов, собранных в нужную группу; она рекомендуется для подключения измерительных приборов и реле защит в сетях с изолированной нейтралью. Соответствующее включение обмоток трехфазных ваттметров, счетчиков и других приборов между двумя фазами позволяет

Схема включения трех однофазных (рисунок 2.2 в) или одного трехфазного (г) ИТН по схеме «звезда-звезда» с заземленной нейтралью со стороны как первичного, так и вторичного напряжения позволяет получать и измерять все междуфазные и фазные напряжения. Эта схема является универсальной.



а) одного однофазного; б) двух однофазных по схеме открытого (неполного) треугольника; в) трех однофазных, схема звезды; г) одного трехфазного трехстержневого; д) трехфазного компенсированного (НТМК); е) трехфазного пятистержневого (НТМИ).

Рисунок 2.2 - Схемы подключения измерительных трансформаторов напряжения

Устройства различного назначения, например, измерительные приборы и реле, рекомендуется включать на разные ИТН.

Для схем автоматики выбираются специальные ИТН, которые могут отличаться схемами включения и параметрами от обычных ИТН.

При подключении измерительных приборов для требуемой точности измерений необходимо, чтобы подведенное первичное напряжение не отличалось более чем на 10 % от номинального напряжения обмоток.

Для снижения угловой погрешности применяют компенсированные ИТН типа НТМК (рисунок 2.2 д).

На время включения нагрузки приборов синхронизации подключенная мощность может превышать номинальную мощность ИТН.

Во всех схемах для исключения перенапряжений в цепях приборов нейтраль на стороне низкого напряжения должна быть заземлена наглухо. Предохранители и автоматы на заземленных проводниках ставить нельзя.

С увеличением числа включенных приборов сопротивление вторичной цепи уменьшается, а нагрузка ИТН увеличивается.

Классификация трансформаторов напряжения. В электроустановках используются однофазные, трехфазные (пятистержневые) и каскадные ТН. Также трансформаторы бывают двух и трех обмоточными.

По изоляции различают ТН с сухой и масляной изоляцией. Однофазные трансформаторы напряжения выпускаются на рабочие напряжения от 380 В до 500 кВ.

Конструктивные размеры и масса ТН определяются не мощностью, как у силовых трансформаторов, а в основном, объемом изоляции первичной обмотки и размерами её выводов высокого напряжения.

Трансформаторы напряжения с номинальным напряжением от 380 В до 6 кВ имеют исполнение с сухой изоляцией (обмотки выполняются проводом марки ПЭЛ и пропитываются асфальтовым лаком).

У трансформаторов напряжением 10 - 500 кВ изоляция масляная (магнитопровод погружен в трансформаторное масло).

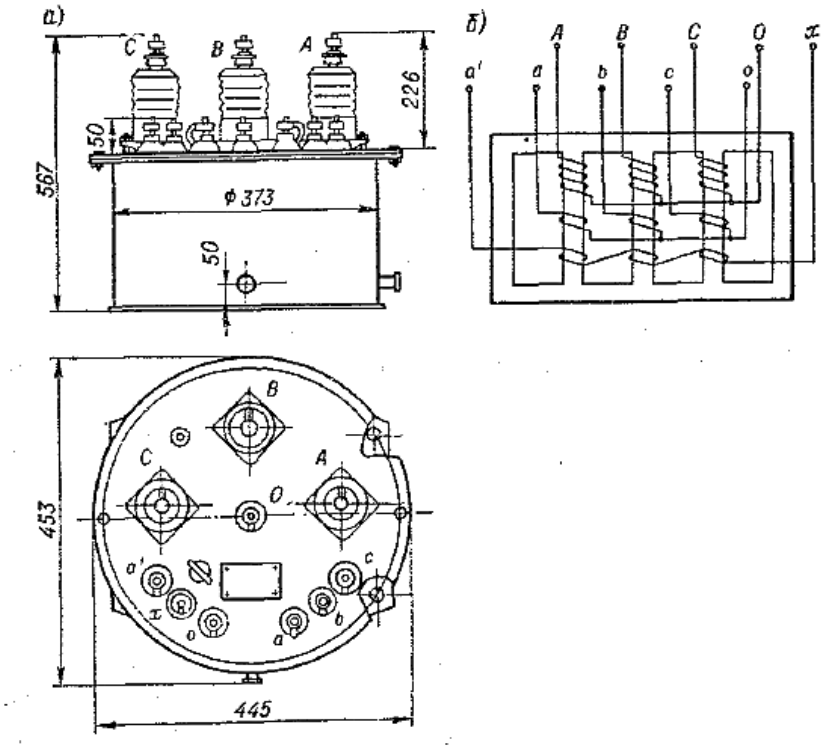
В зависимости от напряжения , назначения, схемы конструкции и прочего ИТН различаются маркой.

Типы НОС, НОСК, НТС, НТСК – это однофазные (О) или трехфазные (Т), сухие (С), компенсированные (К) ИТН; они предназначены для внутренних установок напряжением до 6 кВ.

Типы НОМ ЗНОМ (с заземлением внутреннего конца обмотки высокого напряжения), НТМК, НТМИ, выполненные в баке с маслом, с естественным масляным охлаждением применяются для внутренних установок напряжением до 18 кВ; однофазные ИТН – до 35 кВ.

Трехфазные трансформаторы напряжения. Габариты и стоимость ТН могут быть уменьшены путем объединения трёх однофазных ТН в - один трехфазный. Применяются трехстержневые и пятистержневые ТН.

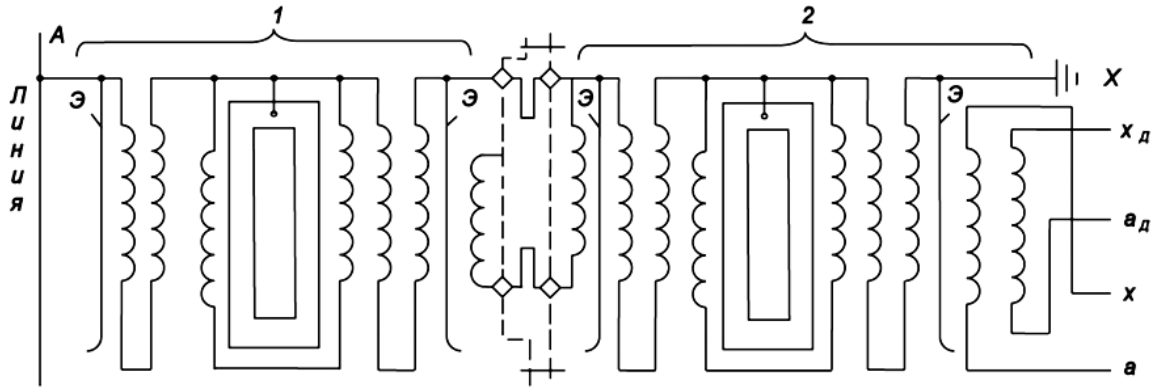
Для контроля сопротивления изоляции систем с изолированной нейтралью применяются трехфазные пятистержневые ТН. При заземлении одной из фаз магнитные потоки, созданные обмотками неповрежденных фаз, замыкаются по крайним стержням, имеющим малое магнитное сопротивление. Дополнительные обмотки, соединенные в открытый треугольник, обеспечивают работу сигнализации и релейной защиты. При симметричном режиме в сети на выходе а,х, напряжение отсутствует.



а) общий вид; б) схема соединений обмоток.
Рисунок 2.3- ИТН типа НТМИ - 10

Каскадные трансформаторы напряжения. При напряжениях выше 35 кВ, ввиду резкого возрастания габаритов и стоимости, масляные каскадные ТН нормальной конструкции состоят от одного до четырёх блоков.

Трансформаторы состоят из одного, двух или трех блоков (рисунок 2.4). Каждый блок состоит из стержневого магнитопровода с двумя стержнями. Первичная обмотка (ВН) равномерно распределена по всем стержням магнитопроводов. Вторичные обмотки (НН), основные и дополнительная, расположены на нижнем стержне нижнего магнитопровода, имеющего наименьший потенциал по отношению к земле (один конец первичной обмотки заземляется). На остальных стержнях размещены также промежуточные - выравнивающая и связующая обмотки, необходимые для равномерного распределения нагрузки вторичных обмоток по всем стержням. Шихтованные магнитопроводы собраны из пластин электротехнической стали. Обмотки трансформаторов - слоевые, намотанные круглым или прямоугольным обмоточным проводом на бакелитовых цилиндрах. Сначала намотана выравнивающая обмотка, затем первичная обмотка и на нее электростатический экран. Связующие обмотки и вторичные обмотки намотаны поверх электростатического экрана.



1 - Верхний блок трансформатора; 2 - нижний блок трансформатора; Э - электростатический экран; А, Х - выводы обмотки ВН; а, х - выводы обмотки НН (основной) ; $а_д$, $х_д$ – выводы обмотки НН (дополнительной).

Рисунок 2.4- Принципиальная схема соединения обмоток каскадного трансформатора НКФ 220 58У1

Результирующее активное и реактивное сопротивление обмоток каскадных ТН значительно больше, чем у ТН нормального исполнения. Поэтому для получения высокого класса точности приходится снижать нагрузку.

Емкостные трансформаторы напряжения. Чем выше напряжение, тем сложнее конструкция трансформатора. В установках 500 кВ и выше применяются трансформаторные устройства с емкостным отбором мощности. Делитель практически представляет собой два конденсатора. Напряжение на конденсаторах делится обратно пропорционально величинам их емкостей. Емкость конденсатора на порядок больше емкости конденсатора. Поэтому ток, идущий по цепочке, будет определяться величиной емкости конденсатора. Напряжение снимается с конденсатора. Его величина 10…15 кВ.

Напряжение подается на трансформатор, имеющий две вторичные обмотки, соединяющиеся по такой же схеме, как и у трансформаторов НКФ или ЗНОМ. Для увеличения точности измерения в цепь первичной обмотки трансформатора включается дроссель. Если трансформатор выключить на конденсатор без дросселя, то с увеличением нагрузки уменьшается входное сопротивление трансформатора. Напряжение начинает уменьшаться. Следовательно, напряжение на нагрузку зависит от ее величины, поэтому дроссель настраивается на резонанс с емкостью при частоте f=50Гц. В результате выходное напряжение будет мало зависеть от величины нагрузки. Такое устройство получило название емкостного трансформатора напряжения НДЕ. При соответствующем выборе всех элементов настройки схемы устройства НДЕ могут быть выполнены на класс точности 0.5 и выше.

НДЕ-фазное напряжение между конденсаторами последовательной цепи распределяется пропорционально их емкостным сопротивлениям. К последнему конденсатору со стороны заземления параллельно части фазного напряжения подключаются ИТН. В конструкциях боковых выключателей в качестве НДЕ используется конденсаторный ввод ВН, к обкладкам которого со

стороны заземления подключается навешиваемый снаружи аппарат ПИН (прибор измерения напряжения). Для установок 750 1150 кВ применяются трансформаторы НДЕ-750 и НДЕ-1150.

2.2 Программа работы

1. Записать технические данные, ознакомиться и изучить конструкции представленных в работе измерительных трансформаторов напряжения.
2. Определить коэффициент трансформации трансформатора напряжения
3. Определить погрешность трансформатора напряжения при различных значениях активной нагрузки.

2.3 Подготовка к работе

1. Ознакомиться с описанием настоящей работы и литературой, указанной в конце сборника.
2. Подготовить все необходимые рисунки.
3. Подготовить таблицы, необходимые для записи результатов соответствующих измерений.
4. Ответить устно на контрольные вопросы.

2.4 Порядок выполнения работы

2.4.1 Изучение параметров и конструкций ТН.

В лаборатории изучаются следующие трансформаторы напряжения: НОМ-10, НТМИ-10.

В данном пункте работы необходимо записать паспортные данные, изучить конструкцию предложенных преподавателем ТН, обратить внимание на количество, тип и схему соединения обмоток, маркировку выводов, и конструктивные особенности.

Паспортные данные изучаемых в лаборатории трансформаторов напряжения внести в таблицу 2.2.

2.4.2 Определение погрешности и коэффициента трансформации измерительного трансформатора напряжения при различных значениях активной нагрузки.

Определение погрешности измерительного трансформатора напряжения НОЛ.12-0,38 производится с помощью лабораторного стенда «Электроэнергетика – Электрические измерения на электрических станциях и подстанциях» ЭЭ2-ЭИЭСП.002.1 РБЭ (938.6.1).

Таблица 2.2 – Паспортные данные ТН

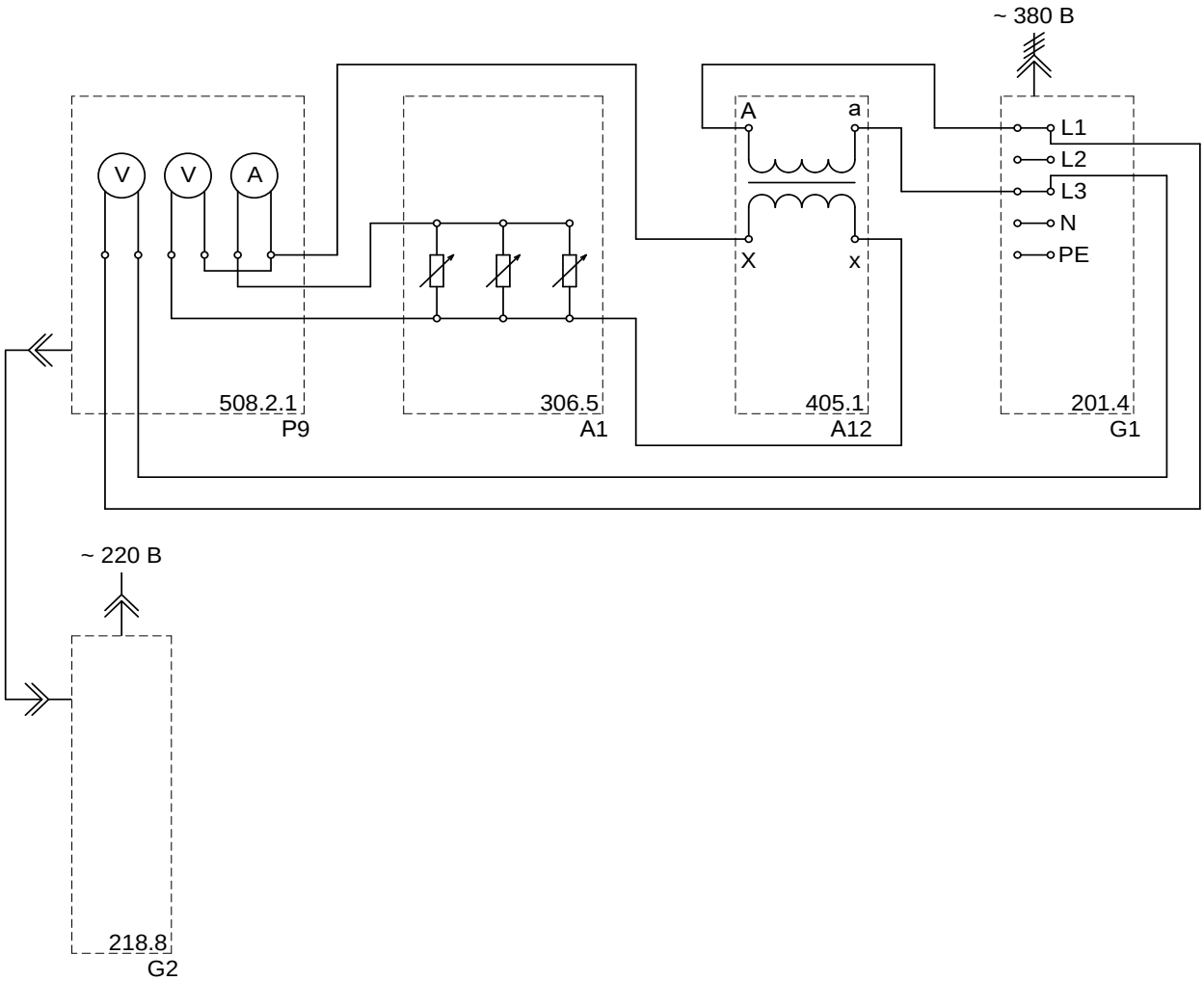
№	Тип	Класс	Номинальное напряжение	Номинальная	Пре-	Схемы

п/п		напря-жения, кВ	обмоток, В		мощность, В·А, в классе точности				дельная мощ-ность В·А	соеди-нения
			первичный	основной вторичный	0,2	0,5	1	3		

При определении погрешности и коэффициента трансформации измерительного трансформатора напряжения при различных значениях активной нагрузки студент должен: опираясь на указания по проведения эксперимента собрать схему согласно рисунку 2.5. В таблице 2.2. представлен перечень аппаратуры используемой при определении погрешности ТН типа НОЛ.12-0,38.

Таблица 2.3 - Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трехфазный источник питания	201.4	~ 400 В / 6 А
G2	Однофазный источник питания	218.8	~ 220 В / 6 А
A1	Активная нагрузка	306.5	220 В / 3х0…30 Вт
A12	Трансформатор напряжения	405.1	380/127 В / Sн = 30 ВА
P9	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра ⩵ 0...1000 В / ⩵ 0...10 А / 0…20 МОм



G2 - Однофазный источник питания; P9 - Блок мультиметров;
A1 – Активная нагрузка; A12 – Трансформатор напряжения;
G1- Трехфазный источник питания.

Рисунок 2. – Схема электрических соединений при определении погрешности измерительного ТН типа НОЛ.12-0,38

Указания по проведению эксперимента:

1) Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2) Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" трехфазного источника питания G1.

3) Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений.

4) Установите активную нагрузку A1 равной, например, 20 %.

5) В источнике трехфазного питания G1 соедините гнезда «ТК» через внешний термоконтакт, а при его отсутствии – просто проводником.

6) Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G2.

7) Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P9.

8) Активизируйте мультиметры блока P9.

9) Включите трехфазный источник питания G1.

10) Зафиксируйте (с помощью вольтметра блока P9) первичное напряжение U_1 трансформатора напряжения A12.

11) Зафиксируйте с помощью вольтметра и амперметра блока P9 соответственно напряжение U_2 и ток I_2 вторичной обмотки трансформатора напряжения A12.

12) Отключите источники питания G1 и G2.

13) Отключите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров P9.

14) Изменяя значения активной нагрузки от 20 - 100 % повторите эксперимент фиксируя с помощью вольтметра и амперметра блока P9 соответственно напряжение U_2 и ток I_2 вторичной обмотки трансформатора напряжения A12. Данные занесите в таблицу 2.3.

15) Вычислите полную мощность трансформатора напряжения A12 по формуле:

$$S_2 = U_2 \times I_2,$$

где, S_2 - полная мощность;
U_2 - вторичное напряжение;
I_2 - вторичный ток.

Полученные результаты расчета нагрузки трансформатора напряжения занесите в таблицу 2.3.

16) Вычислите коэффициент трансформации трансформатора напряжения по формуле:

$$k_H = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}, \qquad (2.6)$$

где k_H – коэффициент трансформации;
U_{1H} – номинальное первичное напряжение;
U_{2H} – номинальное вторичное напряжение.

Полученные результаты расчета коэффициентов трансформации трансформатора напряжения занесите в таблицу 2.4.

17) Вычислите погрешность (в процентах) трансформатора напряжения с помощью формулы:

$$\Delta U = \frac{k_H U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\%. \qquad (2.7)$$

Полученные результаты расчета погрешности трансформатора напряжения занесите в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты полученных значений

Активная нагрузка, %	20	40	60	80	100
Напряжение U_2, В					
Ток I_2, мА					
Мощность S_2 , Вт					
Коэффициент трансформации Кн					
Погрешность					

Сделайте выводы по проделанной работе.

2.5 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Технические данные ТН.
3. Принципиальные схемы испытаний.
4. Результаты по каждому пункту работы.
5. Анализ полученных данных и выводы по каждому пункту.

2.6 Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия трансформаторов напряжения.
2. Конструкции ТН, изоляция ТН.
3. Погрешность измерения трансформаторов напряжения.
4. Класс точности и области применения ТН?
5. Схемы соединения ТН.
6. Принцип действия каскадных ТН, их конструкции.
7. Емкостные делители напряжения.
8. Конструкция и принцип действия НТМИ при контроле изоляции.
9. Схемы включения однофазных ТН и их область применения.
10. Условия выбора трансформаторов напряжения.

Список литературы

1. Вильям Маклиман. Проектирование трансформаторов и дросселей. Справочник. -М.: ДМК Пресс, 2016.-476 с.

2. Хныков А.В. Теория и расчет трансформаторов. Учебник. - М.: Солон Пресс, 2010.-128 с.

3. Почаевец В.С. Электрические подстанции. Учебник. - М.: ФГБОУ, 2012.- 491 с.

4. Игнатович В.М., Ройз Ш.С. Электрические машины и трансформаторы 6-е изд., испр. и доп. учебное пособие для академического бакалавриата. – Томск: ТПУ, 2018. – 181 с.

5. Красник, В. В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств : производственно-практическое пособие– М. : ЭНАС, 2011. – 320 с.

Содержание

Введение……..3

1 Лабораторная работа №1. Измерительные трансформаторы тока……..4

2 Лабораторная работа №2. Измерительные трансформаторы напряжения…….....13

Список литературы……...25

Сводный план 2018 г. поз.

Елена Григорьевна Михалкова
Ирина Сергеевна Соколова
Олжас Даскалович Баймаханов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать
Тираж 150 экз.
Объем 1.68 уч. изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ ____Цена 850 тенге

Копировально-множительное бюро
Некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электрических станций и электроэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методической работе
_____С.В. Коньшин
«_____» _____2018 г.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика

СОГЛАСОВАНО
Начальник ДАВ
_____Р.Р. Мухаметжанова
«____»_____2018г

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «ЭССиС»
Протокол №_ от «__»_____ 2018г.
Зав.каф. «ЭСиЭЭС», к.т.н., проф
_____Умбеткулов Е.К.

Председатель УМС ОУМ
_____Б.К.Курпенов
«_____»_____2018 г.

Редактор
_____Н.М.Голева
«_____»_____2018 г.

Составители:
_____Михалкова Е.Г.
_____Соколова И.С.
_____Баймаханов О.Д.

Специалист по стандартизации
_____Н.К. Молдабекова
«____»_____2018 г.

Алматы 2018